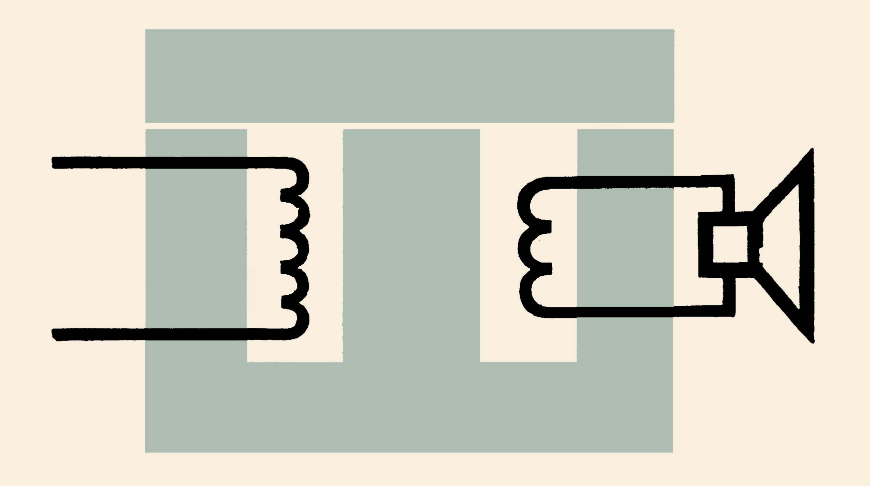
Р. М. МАЛИНИН

ВЫХОДНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ





МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

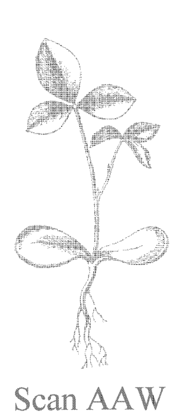
СПРАВОЧНАЯ СЕРИЯ

Выпуск 653

Р. М. МАЛИНИН

ВЫХОДНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

ИЗДАНИЕ 2-е, ПЕРЕРАБОТАННОЕ



Scan AAW



«Энергия»

МОСКВА—1968

6Ф2.14
М 19

УДК 621.314.2

Редакционная коллегия:

Берг А. И., Бурдейный Ф. И., Бурлянд В. А., Ванеев В. И., Геништа Е. Н., Жеребцов И. П., Канаева А. М.. Корольков В. Г., Кренкель Э. Т., Куликовский А. А., Смирнов А. Д., Тарасов Ф. И., Шамшур В. И.

Малинин Р. М.

М 19 Выходные трансформаторы. Изд. 2-е, переработ. М., «Энергия», 1968.

40 с. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 653),

Рассматриваются вопросы конструирования и расчета выходных трансформаторов для оконечных каскадов усилителей низкой частоты на транзисторах, пентодах и лучевых тетродах в радиоприемниках, телевизорах и других устройствах. Приводятся справочные сведения по выходным трансформаторам радиоаппаратуры заводского изготовления и даются рекомендации по их использованию в радиолюбительских конструкциях. Брошюра предназначена для радиолюбителей-конструкторов.

3-4-5
334-67

6Ф2.14

НАЗНАЧЕНИЕ ВЫХОДНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Выходной трансформатор является связующим звеном между анодной цепью электронной лампы (ламп) или коллекторной цепью транзистора (транзисторов) оконечного каскада усилителя НЧ и его нагрузкой, т. е. с помощью выходного трансформатора мощность сигнала звуковой частоты передается из анодной или коллекторной цепи нагрузке.

Нагрузкой усилителя НЧ радиовещательного приемника, радиолы, телевизора, граммофонного проигрывателя и магнитофона (при воспроизведении записей) является громкоговоритель или акустическая система из нескольких громкоговорителей. Необходимость в выходных трансформаторах в этих случаях определяется следующими причинами. Амплитуды переменных составляющих токов в анодных цепях электронных ламп и в коллекторных цепях транзисторов малой и средней мощности обычно не превышают нескольких миллиампер или десятков миллиампер. В то же время для нормального звучания амплитуда тока в звуковой катушке электродинамического громкоговорителя должна иногда достигать нескольких ампер, но при напряжении всего лишь несколько вольт или еще меньше. Если такой громкоговоритель включить непосредственно в анодную цепь лампы или коллекторную цепь транзистора, то низкочастотный сигнал отдаст громкоговорителю малую мощность и звук будет чрезвычайно слабым. Если же громкоговоритель связать с анодной или коллекторной цепью через соответствующий понижающий трансформатор, то мощность, которую способна отдать лампа или транзистор, можно использовать значительно эффективнее и таким путем получить значительно более громкое звуковоспроизведение.

Основными частями выходного трансформатора являются магнитопровод (сердечник) и расположенные на нем обмотки из медного изолированного провода.

ОБОЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИН, ПРИНЯТЫЕ В СПРАВОЧНИКЕ

A — конструктивная постоянная магнитопровода трансформатора, $A = 7{,}2 \cdot 10^{-5} \frac{S_c h_o l_o \sigma_o}{l_м l_в}$;

B — ширина (толщина) магнитопровода из пластин, ширина ленты витого магнитопровода, *мм*;

B — магнитная индукция в магнитопроводе, *тл*;

$C_р$ — емкость разделительного конденсатора, *пф* или *мкф*;

d_I — диаметр провода первичной обмотки, *мм*;

d_{II} — диаметр провода вторичной обмотки (для обмотки из двух параллельных секций — диаметр провода каждой из них), *мм*;

I_0 — постоянная составляющая тока первичной обмотки (тока анода лампы, тока коллектора транзистора; для двухтактной схемы — постоянная составляющая тока каждого плеча), *ма*;

$I_{к.макс}$ — допустимый ток коллектора транзистора данного типа, *ма*;

$I_{к.и}$ — максимальный импульс тока коллектора, *ма*;

$F_в$ — высшая частота полосы пропускания, *гц*;

$F_н$ — низшая частота полосы пропускания, *гц*;

$F_р$ — частота разделения каналов псевдостереофонической системы объемного звучания, *гц*;

H — высота магнитопровода, *мм*;

$h_п$ — ширина замыкающей пластины (перемычки) магнитопровода, *мм*;

$h_о$ — высота окна магнитопровода, *мм*;

L — длина магнитопровода, *мм*;

L_I — индуктивность первичной обмотки, *гн*;

L_s — индуктивность рассеяния трансформатора, *гн*;

l — ширина средней части Ш-образной пластины, среднего стержня броневого магнитопровода, *мм*;

$l_в$ — средняя длина витка обмоток, *см*;

$l_з$ — величина немагнитного зазора в магнитопроводе, *мм*;

$l_м$ — длина средней магнитной силовой линии магнитопровода, *см*;

$l_о$ — ширина окна магнитопровода, *мм*;

m — количество громкоговорителей;

$M_н$ — снижение усиления на низшей частоте $F_н$ полосы пропускания по сравнению с усилением на средних частотах, вызываемое выходным трансформатором;

n — отношение числа витков вторичной обмотки к числу витков первичной обмотки трансформатора;

$P_{вых}$ — выходная мощность оконечного каскада, *вт*;

$P_{к.макс}$ — допустимая мощность рассеяния на коллекторе транзистора, *вт*;

$r_{гр}$ — полное сопротивление звуковой катушки громкоговорителя переменному току частоты 1 000 *гц*, *ом*;

r_I — сопротивление первичной обмотки трансформатора постоянному току, *ом*;

r_{II} — сопротивление вторичной обмотки постоянному току, *ом*;

$R_а$ — наивыгоднейшее эквивалентное сопротивление нагрузки анодной цепи лампы или коллекторной цепи транзистора в однотактном каскаде, *ом*;

$R_{а.э}$ — то же между анодами ламп или коллекторами транзисторов в двухтактном каскаде, *ом*;

$R_н$ — сопротивление нагрузки трансформатора переменному току частоты 1 000 *гц*, *ом*;

$R_{н.в}$ — то же верхнечастотного трансформатора псевдостереофонической системы, *ом*;

$S_с$ — полезная площадь сечения магнитопровода, *см*^{2};

U_0 — напряжение источника питания анодной цепи электронной лампы (ламп) или коллекторной цепи транзистора (транзисторов), *в*;

U_{II} — действующее напряжение звуковой частоты на вторичной обмотке выходного трансформатора (на средних частотах), *в*;

w_I — число витков первичной обмотки;

w_{II} — число витков вторичной обмотки; для обмотки из двух параллельно соединенных частей — число витков в каждой из них;

$w_э$ — число витков первичной обмотки, включенных в общую цепь анода и экранирующей сетки пентода при сверхлинейной схеме;

$\eta_т$ — к. п. д. трансформатора;

μ — магнитная проницаемость материала магнитопровода;

σ_0 — коэффициент заполнения окна медью обмотки — отношение суммарной площади сечения витков всех обмоток к площади окна;

$\pi = 3{,}14$.

Коэффициенты, применяемые при расчетах:

$$k_L \geqslant 2\pi \sqrt{M_н^2 - 1}\ ;$$

$$k_w = \frac{9\,000}{\sqrt{\mu}}\ ;$$

$$k_A = \frac{0{,}015}{\sqrt{0{,}5\,(1 - \eta_т)}}\ ;$$

$$k_B = \frac{0{,}015}{\sqrt{0{,}586\,(1 - \eta_т)}}\ .$$

СХЕМЫ ВЫХОДНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Обмотка, включаемая в анодную или коллекторную цепь оконечного каскада, называется первичной; обмотка, к которой подключается нагрузка, — вторичной. Вторичных обмоток может быть несколько. Обмотки могут иметь отводы. Со вторичной обмотки (общей с нагрузкой или отдельной) часто снимают напряжение отрицательной обратной связи. Первичные обмотки обозначают на схемах цифрой *I*, а вторичные — цифрой *II* (рис. 1—3).

Однотактные оконечные каскады (рис. 1) применяют в усилителях низкой частоты с выходными мощностями, не превышающими обычно следующих величин: 0,05 *вт* с транзистором, 0,2 *вт* с электронной лампой при батарейном питании и 4 *вт* с электронной лампой или транзистором при питании от электросети.

По двухтактным схемам (рис. 2) оконечные каскады выполняют, когда нужно иметь бо́льшие выходные мощности. Такие каскады с электронными лампами могут работать в режиме А или В. Двухтактные схемы на транзисторах обычно работают в режиме В.

Каскады на пентодах или лучевых тетродах рекомендуется выполнять по сверхлинейным схемам (рис. 1, *в* и 2, *в*), которые вносят наименьшие нелинейные искажения.

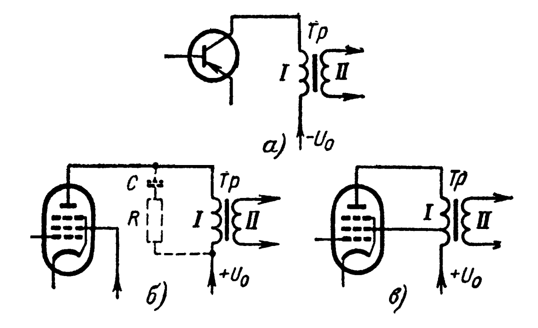


Рис. 1. Схемы включения выходных трансформаторов в однотактные оконечные каскады.

а — с транзистором; *б* — с пентодом или лучевым тетродом; *в* — то же, по сверхлинейной схеме.

МАГНИТОПРОВОДЫ

Материал. Выходные трансформаторы усилителей НЧ с выходной мощностью $P_{вых}$ до нескольких десятков ватт обычно имеют броневые магнитопроводы из трансформаторной стали (рис. 4). Магнитопроводы трансформаторов малогабаритных приемников и усилителей НЧ с $P_{вых} \leqslant 0,2$ *вт* целесообразно изготовлять из пластин пермаллоя, что позволяет существенно уменьшить размеры трансформаторов.

Электротехническая сталь. Магнитопроводы выходных трансформаторов чаще всего изготавливают из электротехнической стали: листовой, марок Э42, Э43, Э320, Э330 толщиной 0,2—0,35 *мм* или ленточной (рулонной) толщиной 0,1—0,2 *мм* марок Э340, Э350 или Э360. Особенностью такой стали является то, что она содержит не более 1% углерода, несколько процентов кремния, остальное — железо. Примесь кремния (полупроводник) увеличивает электрическое сопротивление магнитопровода, что снижает потери в нем на вихревые токи и тем самым увеличивает к. п. д. трансформатора.

Первая цифра в марке электротехнической стали указывает средний процент содержания в ней кремния, вторая — характеризует ее электромагнитные свойства: чем больре это число, тем меньше потери в стали. Цифра 0 в обозначении марки стали указывает, что это холоднокатаная (текстурованная) сталь.

Пермаллой — это сплав никеля и железа с примесями молибдена, хрома или некоторых других химических элементов. Число в марке пермаллоя указывает процент содержания в нем никеля, буква Н обозначает никель, а следующие буквы указывают примеси: М — молибден, Х — хром, С — кремний, А — алюминий. Так, например, пермаллой марки 79НМ содержит 79% никеля, примесь молибдена, остальное — железо.

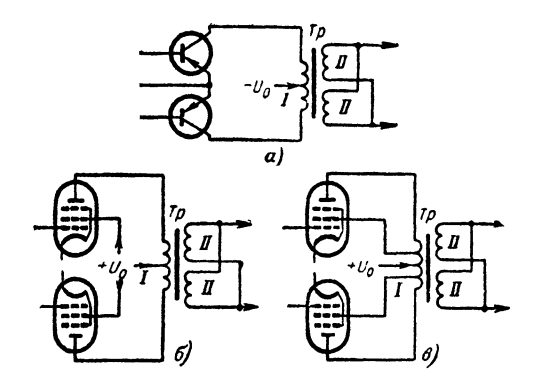


Рис. 2. Схемы включения выходных трансформаторов в двухтактные оконечные каскады.

а — с транзисторами; *б* — с пентодами или лучевыми тетродами, *в* — то же по сверхлинейной схеме.

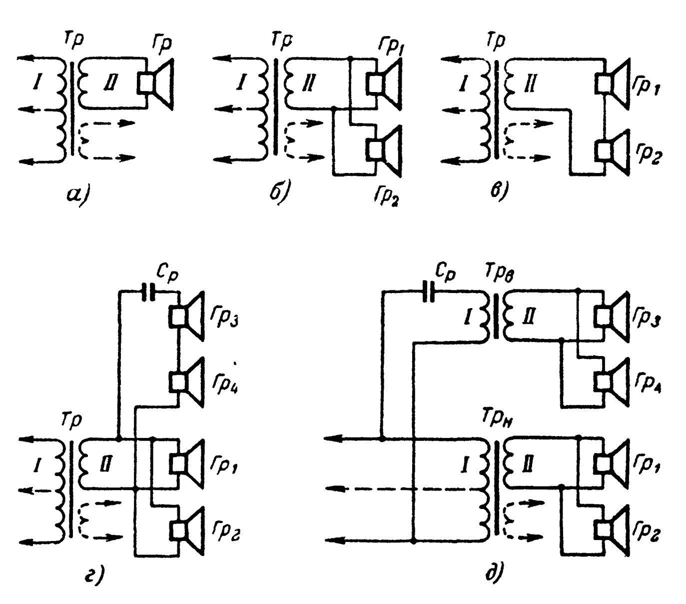


Рис. 3. Схемы присоединения нагрузок к выходным трансформаторам.

а — один громкоговоритель; *б* — два соединенных параллельно громкоговорителя; *в* — два соединенных последовательно громкоговорителя; *г* — громкоговорители, воспроизводящие верхние звуковые частоты в широкополосной системе или в системе объемного звучания, подключены ко вторичной обмотке выходного трансформатора через конденсатор $C_р$; *д* — громкоговорители, воспроизводящие верхние звуковые частоты в широкополосной системе или в системе объемного звучания, включены через отдельный выходной трансформатор $Тр_в$.

Виды магнитопроводов. В низкочастотных трансформаторах при выходной мощности примерно до 100 *вт* применяют преимущественно магнитопроводы следующих видов:

1. Броневые из Ш-образных и замыкающих магнитную цепь прямоугольных пластин, штампованных из листовой стали или листового пермаллоя (рис. 4, *а*, *б*, рис. 5, *а*, *б* и табл. 1*). Обмотки раз-

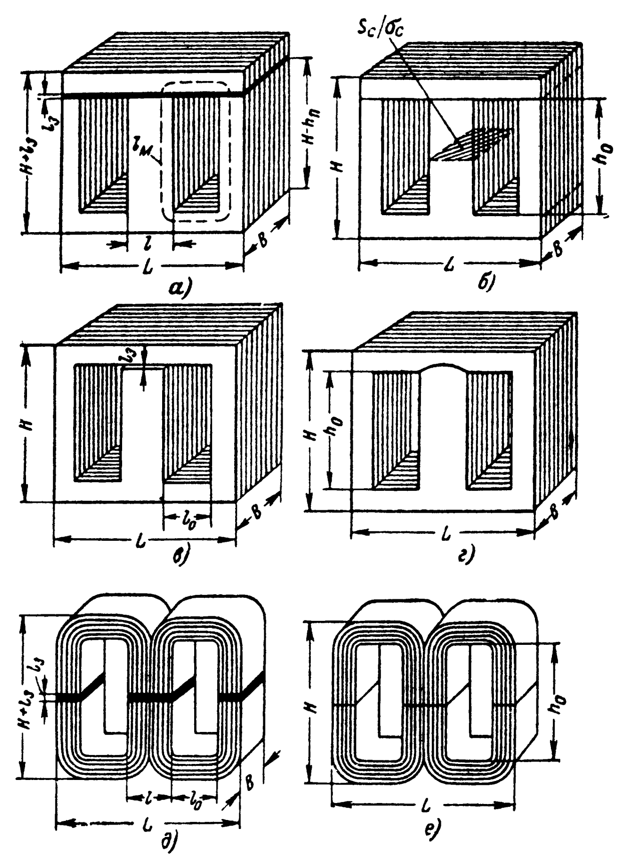


Рис. 4. Броневые магнитопроводы.

а — из пластин, с немагнитным зазором (для выходного трансформатора однотактного каскада); *б* — из таких же пластин, собранных вперекрышку (для трансформатора двухтактного каскада); *в* — из пластин с зазором (для трансформатора однотактного каскада); *г* — из пластин, собранных вперекрышку; *д* — ленточный, разъемный с зазором; *е* — то же, без зазора.

---

* Конструктивные постоянные *A* магнитопроводов даны в табл. 1 и 2 округленно, причем принято $\sigma_0 = 0{,}2 \div 0{,}3$; меньшие значения σ_0 относятся к магнитопроводам меньших габаритов и наоборот.

мещаются на средней части сердечника, занимая место в его окнах.

2. Броневые из цельных пластин с просечкой, штампованных из таких же материалов (рис. 4, *в*, *г*, рис. 5, *в*, *г* и табл. 1). Расположение обмоток такое же.

3. Броневые витые разрезные. Их изготавливают на заводах из ленточной электротехнической холоднокатаной стали. На оправку наматывают заготовку О-образной формы и склеивают слои ленты между собой под давлением при нагреве. Полученное изделие раз-

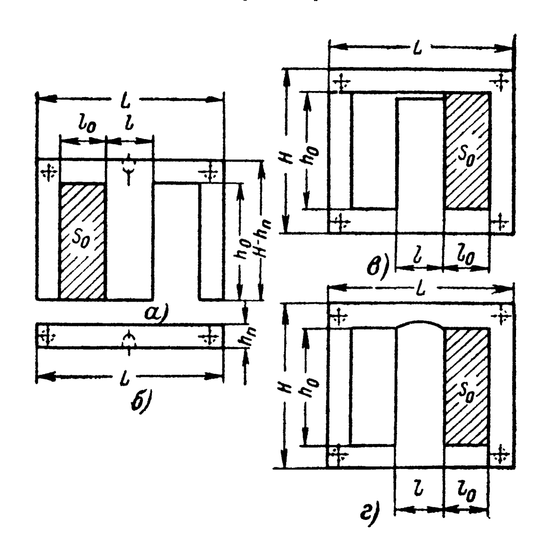


Рис. 5. Пластины броневых магнитопроводов.

а — типа Ш и УШ, *б* — типа Я и УШ; *в* — неразъемная с зазором; *г* — то же, без зазора.

резают на две части, имеющие форму букв П, и их торцы тщательно шлифуют так, чтобы при составлении их вместе между ними не было воздушного зазора. Магнитопровод собирают из четырех П-образных частей (рис. 4, *д*, *е* и табл. 2).

Роль изоляции между пластинами. Магнитопроводы изготовляют «слоистыми» — из листов или лент для того, чтобы увеличить их сопротивление вихревым токам и тем самым снизить потери.

В магнитопроводах из пластин это достигается тем, что поверхность каждой из них покрыта тонкой пленкой окиси, обладающей плохой электропроводностью. Покрытие пластин лаком или оклейка бумагой практически не дает заметного уменьшения потерь.

После окончания сборки трансформатора части магнитопровода плотно стягивают скобами. Если пластины имеют отверстия, сердечник стягивают при помощи болтов, пропущенных сквозь эти отверстия, и гаек. Чтобы не увеличивать потери на вихревые токи, болты изолируют от пластин втулками из бумаги или иного материала.

Обозначение пластин. Обозначение Ш-образной пластины со-

Таблица 1

Типовые броневые магнитопроводы из пластин

Тип	Габаритные размеры			S_c, см²	l_o, мм	h_o, мм	$l_м$, см	$l_в$, см	$A\ 10^5$
	L, мм	H, мм	B, мм						
Ш2,5×3,2	10	8,7	3,2	0,06	2,5	6,2	2,1	1,9	0,3
Ш2,5×5	10	8,7	5,0	0,11	2,5	6,2	2,1	2,2	0,5
Ш3×4	12	10,5	4,0	0,10	3	7,5	2,6	2,3	0,5
Ш3×6,3	12	10,5	6,3	0,16	3	7,5	2,6	2,8	0,7
Ш4×5	16	14	5,0	0,17	4	10	3,4	3,0	0,9
Ш4×8	16	14	8,0	0,27	4	10	3,4	3,7	1,2
Ш5×5	20	20	5,0	0,21	5	12,5	4,7	3,6	1,2
Ш5×6,3	20	17,5	6,3	0,27	5	12,5	4,2	3,8	1,2
Ш5×10	20	17,5	10	0,42	5	12,5	4,2	4,5	1,9
Ш6×8	24	21	8	0,41	6	15	5,1	4,7	2,2
Ш6×12,5	24	21	12,5	0,64	6	15	5,1	5,6	3,0
Ш7×7	30	30	7,0	0,42	6,5	20	6,9	4,7	2,4
Ш7×10	30	30	10	0,60	6,5	20	6,9	5,3	3,0
Ш7×14	30	30	14	0,84	6,5	20	6,9	6,1	3,7
Ш8×10	32	28	10	0,68	8	20	6,8	6,0	3,8
Ш8×16	32	28	16	1,1	8	20	6,8	7,1	5,2
Ш9×9	36	31	9	0,69	9	22,5	7,7	6,3	3,9
Ш9×13	36	31	13	0,92	9	22,5	7,7	7,1	5,0
Ш10×10*	36	31	10	0,9	6,5	18	5,7	5,8	4,4
Ш10×10	40	35	10	0,9	10	25	8,5	6,9	5,4
Ш10×12,5	40	35	12,5	1,1	10	25	8,5	7,4	6,1
Ш10×15*	36	31	15	1,3	6,5	18	5,7	6,8	5,5
Ш10×16	40	35	16	1,4	10	25	8,5	8,1	7,3
Ш10×20*	36	31	20	1,8	6,5	18	5,7	7,8	6,2
Ш10×20	40	35	20	1,8	10	25	8,5	8,9	8,4
Ш12×12	36	30	12	1,3	6	18	6,7	6,5	4,4
	42	42	12	1,3	9	30	9,7	7,5	6,8
Ш12×12*	44	38	12	1,3	8	22	6,7	7,0	7,0
Ш12×12	48	30	12	1,3	12	18	7,6	8,5	5,8
	48	42	12	1,3	12	30	10,3	8,5	7,3

Тип	Габаритные размеры			S_c, $см^2$	l_o, мм	h_o, мм	$l_м$, см	$l_в$, см	A 10[5]
	L, мм	H, мм	B, мм						
Ш12×16	42	42	16	1,7	9	30	9,7	8,3	8,2
	48	30	16	1,7	12	18	7,6	9,3	7,1
	48	42	16	1,7	12	30	10,3	9,3	9,0
Ш12×18	36	30	18	1,8	6	18	6,7	7,7	5,4
Ш12×18*	44	38	18	1,8	8	22	6,7	8,2	8,6
Ш12×20	42	42	20	2,2	9	30	9,7	9,1	9,7
	48	30	20	2,2	12	18	7,6	10	8,2
	48	42	20	2,2	12	30	10,3	10	10
Ш12×24	36	30	24	2,6	6	18	6,7	8,9	6,0
Ш12×24*	44	38	24	2,6	8	22	6,7	9,4	9,8
Ш12×25	42	42	25	2,7	9	30	9,7	10	10
	48	30	25	2,7	12	18	7,6	11	9,4
	48	42	25	2,7	12	30	10,3	11	12
Ш12×32	42	42	32	3,5	9	30	9,7	11,4	12
	48	30	32	3,5	12	18	7,6	12,5	11
	48	42	32	3,5	12	30	10,3	12,5	14
Ш14×14	42	35	14	1,8	7	21	7,8	7,6	6,2
	50	43	14	1,8	9	25	7,9	8,2	9,1
Ш14×21	42	35	21	2,7	7	21	7,8	9,0	7,6
	50	43	21	2,7	9	25	7,9	9,6	11
Ш14×28	42	35	28	3,6	7	21	7,8	10,4	8,8
	50	43	28	3,6	9	25	7,9	11	13
Ш15×19	64	49	19	2,6	13	27	8,3	11	16
Ш15×30	64	49	30	4,1	13	27	8,3	13,3	19
Ш16×16	48	40	16	2,3	8	24	8,9	8,6	8,4
Ш16×16*	56	48	16	2,3	10	28	9,0	9,3	13
Ш16×16	64	40	16	2,3	16	24	10,5	11	11
	64	56	16	2,3	16	40	13,7	11	15
Ш16×20	64	40	20	2,9	16	24	10,5	12	14
	64	56	20	2,9	16	40	13,7	12	18
Ш16×24	48	40	24	3,5	8	24	8,9	10,2	10
Ш16×24*	56	48	24	3,5	10	28	9,0	10,9	16
Ш16×25	64	40	25	3,6	16	24	10,5	13	16
	64	56	25	3,6	16	40	13,7	13	21

Тип	Габаритные размеры			S_c, $см^2$	l_o, мм	h_o, мм	$l_м$, см	$l_в$, см	$A\ 10^5$
	L, мм	H, мм	B, мм						
Ш16×32	48	40	32	4,6	8	24	8,9	11,8	11
Ш16×32*	56	48	32	4,6	10	28	9,0	12,5	19
Ш16×32	64	40	32	4,6	16	24	10,5	14,3	19
	64	56	32	4,6	16	40	13,7	14,3	25
Ш16×40	64	40	40	5,8	16	24	10,5	16	21
	64	56	40	5,8	16	40	13,7	16	28
Ш18×18	54	45	18	2,9	9	27	10	20	11
Ш18×27	54	45	27	4,4	9	27	10	11,6	14
Ш18×36	54	45	36	5,8	9	27	10	13,4	16
Ш19×19*	67	57	19	3,2	12	33	10,6	11	19
Ш19×19	75	68	19	3,2	17	46	14,3	11	28
Ш19×28*	67	57	28	4,9	12	33	10,6	12,8	24
Ш19×28	75	68	28	4,9	17	46	14,3	12,8	37
Ш19×38*	67	57	38	6,5	12	33	10,6	14,8	27
Ш19×38	75	68	38	6,5	17	46	14,3	14,8	43
Ш20×20	60	50	20	3,6	10	30	11	11	14
	65	65	20	3,6	12	45	14,6	12	21
	80	50	20	3,6	20	30	13	14	23
	80	70	20	3,6	20	50	17	14	30
Ш20×25	80	50	25	4,5	20	30	13	15	27
	80	70	25	4,5	20	50	17	15	35
Ш20×27	65	65	27	4,9	12	45	14,6	13,4	25
Ш20×30	60	50	30	5,4	10	30	11	13	18
Ш20×32	80	50	32	5,7	20	30	13	16	33
	80	70	32	5,7	20	50	17	16	43
Ш20×40	60	50	40	7,2	10	30	11	15	20
	65	65	40	7,2	12	45	14,6	16	31
	80	50	40	7,2	20	30	13	18	38
	80	70	40	7,2	20	50	17	18	45
Ш22×22	66	55	22	4,4	11	33	12,3	12	23
Ш22×22*	67	78	22	4,4	14	39	12,4	13	27
Ш22×33	66	55	33	6,6	11	33	12,3	14	30
Ш22×33*	67	78	33	6,6	14	39	12,4	15	36
Ш22×44	66	55	44	8,8	11	33	12,3	16,4	35
Ш22×44*	67	78	44	8,8	14	39	12,4	17,4	40

Тип	Габаритные размеры			S_c, $см^2$	l_0, мм	h_0, мм	$l_м$, см	$l_в$, см	$A \cdot 10^5$
	L, мм	*H*, мм	*B*, мм						
Ш25×25	100	63	25	5,6	25	37	16,4	17,4	40
	100	88	25	5,6	25	62	21,4	17,4	50
Ш25×32	100	88	32	7,2	25	62	21,4	19	60
Ш25×40	100	63	40	9,0	25	37	16,4	21	55
	100	88	40	9,0	25	62	21,4	21	70
Ш26×26*	94	81	26	6,2	17	47	14,7	15,4	40
Ш26×39*	94	81	39	9,3	17	47	14,7	18	50
Ш26×52*	94	81	52	12,4	17	47	14,7	21	57
Ш28×28	84	70	28	7	14	42	15,6	15,4	40
Ш28×42	84	70	42	11	14	42	15,6	18	50
Ш30×30*	106	91	30	8	19	53	17	17,6	60
Ш30×45*	106	91	45	12	19	53	17	20,6	75
Ш30×60*	106	91	60	16	19	53	17	23,6	90
Ш32×32	128	80	32	9,3	32	48	21	23	70
	128	112	32	9,3	32	80	27,4	23	90
Ш32×40	128	80	40	11,5	32	48	21	24	80
	128	112	40	11,5	32	80	27,4	24	100
Ш32×50	128	80	50	14,4	32	48	21	26	90
	128	112	50	14,4	32	80	27,4	26	120

* Магнитопроводы с «уширенными» боковыми стержнями (тип УШ).

стоит из буквы Ш и числа, выражающего ширину ее среднего язычка (l) в миллиметрах (например, Ш10). Обозначение типа прямой замыкающей пластины состоит из буквы Я и такого же числа, какое имеется в обозначении комплектной к ней Ш-образной пластины.

Пластины с одним и тем же обозначением могут отличаться внешними размерами H и L, высотой и шириной окна h_0 и l_0.

Крайние боковые язычки пластин чаще всего имеют вдвое меньшую ширину по сравнению с шириной среднего язычка (l). Пластины, у которых ширина крайних язычков равна примерно $^2/_3\,l$, иногда обозначают буквами УШ (У — первая буква слова «уширенные»). Комплектные к ним замыкающие прямоугольные пластины (рис. 5, *б*) обозначают УП. Например, к Ш-образным пластинам типа УШ19 комплектными являются пластины типа УП19.

Таблица 2

Типовые броневые магнитопроводы витые из ленточной электротехнической стали

Тип	Габаритные размеры			$S_с$, $см^2$	$l_о$, мм	$h_о$, мм	$l_м$, см	в, см	$A \cdot 10^5$
	L, мм	H, мм	B, мм						
ШЛ6×6,3	24	21	6,3	0,34	6	15	5,1	4,3	1,8
ШЛ6×8	24	21	8	0,41	6	15	5,1	4,7	2,0
ШЛ6×10	24	21	10	0,52	6	15	5,1	5,1	2,3
ШЛ6×12,5	24	21	12,5	0,65	6	15	5,1	5,6	2,6
ШЛ8×8	32	28	8	0,55	8	20	6,8	5,7	3,2
ШЛ8×10	32	28	10	0,69	8	20	6,8	6,0	3,4
ШЛ8×12	32	28	12	0,86	8	20	6,8	6,6	4,0
ШЛ8×16	32	28	16	1,1	8	20	6,8	7,1	4,9
ШЛ10×10	40	35	10	0,9	10	25	8,5	6,9	5,4
ШЛ10×12,5	40	35	12,5	1,1	10	25	8,5	7,4	6,1
ШЛ10×16	40	35	16	1,4	10	25	8,5	8,1	7,3
ШЛ10×20	40	35	20	1,8	10	25	8,5	8,9	8,4
ШЛ12×12,5	48	42	12,5	1,3	12	30	10,3	8,7	7,5
ШЛ12×16	48	42	16	1,7	12	30	10,3	9,4	9,0
ШЛ12×20	48	42	20	2,1	12	30	10,3	10,2	10
ШЛ12×25	48	42	25	2,7	12	30	10,3	11,2	12
ШЛ16×16	64	56	16	2,3	16	40	13,7	11,5	15
ШЛ16×20	64	56	20	2,9	16	40	13,7	12,3	17
ШЛ16×25	64	56	25	3,6	16	40	13,7	13,3	21
ШЛ16×32	64	56	32	4,6	16	40	13,7	14,7	25
ШЛ20×20	80	70	20	3,6	20	50	17,1	14,3	30
ШЛ20×25	80	70	25	4,5	20	50	17,1	15,3	36
ШЛ20×32	80	70	32	5,7	20	50	17,1	16,7	44
ШЛ20×40	80	70	40	7,2	20	50	17,1	18,3	46
ШЛ25×25	100	87,5	25	5,6	25	62,5	21,3	17	50
ШЛ25×32	100	87,5	32	7,2	25	62,5	21,3	19	60
ШЛ25×40	100	87,5	40	9,0	25	62,5	21,3	20	70
ШЛ25×50	100	87,5	50	11	25	62,5	21,3	22	80
ШЛ32×32	128	112	32	9,2	32	80	27,3	23	90
ШЛ32×40	128	112	40	11	32	80	27,3	24	100
ШЛ32×50	128	112	50	14	32	80	27,3	26	120
ШЛ32×64	128	112	64	18	32	80	27,3	28	140

Обозначения магнитопроводов. Обозначение магнитопровода из Ш-образных пластин состоит из обозначения типа этих пластин, знака умножения и числа, выражающего толщину магнитопровода в миллиметрах. Например, магнитопровод из пластин Ш25 и Я25, имеющий толщину *B* равную 40 *мм*, обозначают Ш25×40.

Обозначение витого броневого магнитопровода состоит из букв ШЛ (первые буквы слов «Ш-образный» и «Ленточный») и двух разделенных знаком умножения чисел, первое из которых указывает ширину среднего стержня, а второе — ширину ленты, из которой магнитопровод изготовлен, в миллиметрах.

Площадь сечения магнитопровода. Вследствие наличия изоляции между пластинами или слоями ленты, а также невозможности совершенно плотной укладки пластин или намотки ленты полезная площадь сечения магнитопровода S_c меньше произведения ширины стержня (l) на его толщину (B). Отношение S_c/lB называют коэффициентом заполнения магнитопровода сталью; он обозначается σ_c. В табл. 1 указаны площади сечения S_c при использовании пластин, не покрытых лаком и не оклеенных бумагой, толщиной 0,35 *мм* для магнитопроводов Ш12×12 и бóльших размеров (при этом $\sigma_c \approx 0{,}9$) и толщиной 0,2 *мм* для магнитопроводов меньших размеров (при этом $\sigma_c \approx 0{,}8 \div 0{,}85$). Если пластины деформированы, то σ_c меньше. Для витых магнитопроводов (табл. 2) $\sigma_c \approx 0{,}9$.

Зазор в магнитопроводе. Постоянная составляющая тока, протекающего по первичной обмотке выходного трансформатора однотактного каскада, создает в его магнитопроводе постоянное магнитное поле (постоянное подмагничивание). Оно снижает магнитную проницаемость материала магнитопровода, вследствие чего индуктивность первичной обмотки уменьшается и передача нижних частот ухудшается. Если сделать немагнитный зазор в виде тонкой прокладки из картона, бумаги или иного изоляционного материала между разъемными частями магнитопровода (рис. 4, *а*, *д*), либо в виде щели в нем (рис. 4, *в*), то магнитная проницаемость и индуктивность снижаются в меньшей степени.

Для данного числа w_{I} и для данной величины постоянной составляющей тока через обмотку (I_0) существует оптимальная (наивыгоднейшая) величина немагнитного зазора ($l_з$), при которой индуктивность первичной обмотки получается наибольшей.

В выходных трансформаторах каскадов с подогревными лампами, когда постоянное подмагничивание магнитопровода значительно, начальная магнитная проницаемость пермаллоя даже при наличии зазора настолько снижается, что этот материал уже не имеет практического преимущества перед трансформаторной сталью.

В случае двухтактной схемы постоянное подмагничивание магнитопровода выходного трансформатора, возникающее вследствие некоторой разницы в величинах токов в половинках первичной обмотки (асимметрия плеч), настолько мало, что зазор в магнитопроводе не делают.

В трансформаторе $Тр_в$ на схеме по рис. 3, *д* постоянное подмагничивание магнитопровода полностью отсутствует, так как последовательно с его первичной обмоткой включен конденсатор; поэтому и в таком трансформаторе магнитопровод делают без зазора.

КОНСТРУКЦИЯ ОБМОТОК И КАРКАСОВ ДЛЯ НИХ

От числа витков и конструкции обмоток трансформатора зависят вносимые им искажения. Чтобы оконечный каскад хорошо усиливал нижние частоты звукового диапазона, первичная обмотка выходного трансформатора должна иметь достаточно большую индуктивность, т. е. содержать достаточно большое число витков. Хорошее усиление верхних звуковых частот получается, когда индуктивность рассеяния трансформатора мала. Она зависит от конструкции, взаимного расположения обмоток и толщины изоляционных прокладок

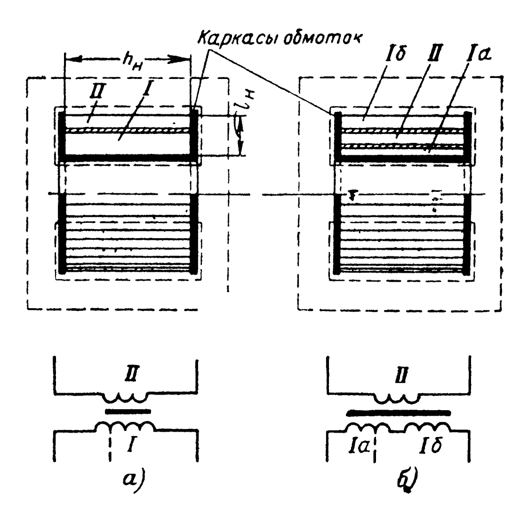


Рис. 6. Схемы и расположение обмоток выходных трансформаторов однотактных каскадов.

между ними. Индуктивность рассеяния тем меньше, чем меньше витков в первичной обмотке и толщина прокладок между обмотками, а также чем больше отношение $h_н/l_н$ (рис. 6, *а*); следовательно, из последнего соображения целесообразнее применение магнитопровода с большей высотой окна $h_о$ при той же площади сечения $S_с$. Расположение вторичной обмотки между частями первичной (рис. 6, *б*) снижает индуктивность рассеяния примерно в 4 раза.

Для намотки выходных трансформаторов применяют провода в эмалевой изоляции, например марки ПЭЛ или ПЭВ. При использовании проводов в волокнистой изоляции толщина намотки получается большей, а это ведет к увеличению индуктивности рассеяния. Применение проводов в волокнистой изоляции может вызвать затруднения в размещении обмоток в окне магнитопровода.

Выходной трансформатор однотактного каскада с несекционированными обмотками (рис 6, *а*) обычно удовлетворительно передает частоты только до $F_в = 3\,000 \div 4\,000$ *гц*, если параллельно первичной обмотке включить корректирующий контур *CR* (рис. 1, *б*) или при-

менить в усилителе достаточно глубокую отрицательную обратную связь.

Для расширения диапазона в области верхних частот до 6 000—7 000 *гц* следует применять конструкцию обмоток трансформатора согласно рис. 6, *б*.

При необходимости воспроизведения еще более высоких частот в радиовещательных приемниках применяют схему с двумя выходными трансформаторами (рис. 3, *д*).

Выходной трансформатор двухтактного каскада при $F_в = 6\,000 \div 7\,000$ *гц* изготавливают с первичной обмоткой из четырех

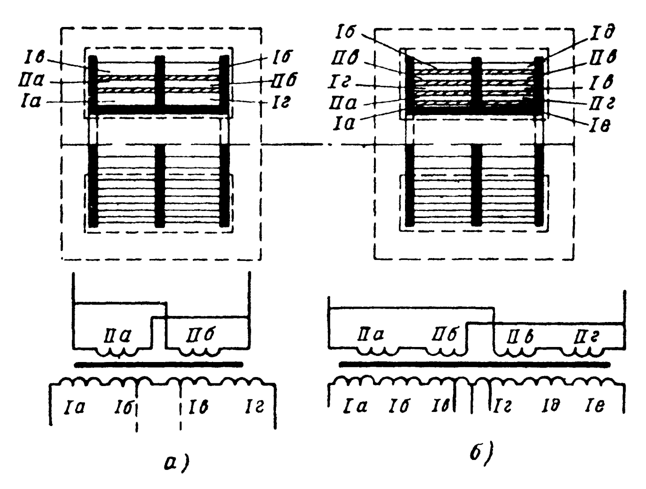


Рис. 7. Схемы и расположение обмоток выходных трансформаторов двухтактных каскадов.

одинаковых секций и вторичной — из двух параллельно соединенных частей, расположенных между секциями первичной обмотки (рис. 7, *а*).

Для воспроизведения еще более высоких частот следует применять конструкцию обмоток выходного трансформатора лампового двухтактного каскада согласно рис. 7, *б* или схему с двумя выходными трансформаторами (рис. 3, *д*). В конструкции по рис. 7, *б* секции *Iа*, *Iб*, *Iд* и *Iе* первичной обмотки содержат по $^1/_8$, а секции *Iв* и *Iг* — по $^1/_4$ части ее витков. Секции вторичной обмотки содержат по равному числу витков.

Выходной трансформатор двухтактного транзисторного каскада. Этот трансформатор в малогабаритном транзисторном радиоприемнике обычно выполняют на магнитопроводе с малыми размерами окон, что вынуждает принимать меры к весьма компактному размещению обмоток. Учитывая, что в этих случаях трансформаторы работают при небольших напряжениях и $F_в = 3\,000 \div 4\,000$ *гц*, возможно применение следующей простой конструкции: сначала наматывают односекционную вторичную обмотку, а поверх нее наматывают одновременно обе половины первичной обмотки (намотка ведется

сложенным вдвое проводом); среднюю точку получают, соединяя конец одного провода с началом другого. При таком способе намотки первичной обмотки улучшается симметрия плеч двухтактного каскада.

Трансформатор $Тр_в$ (рис. 3, *д*) должен иметь конструкцию согласно рис. 6, *б*.

Каркасы для обмоток. Боковые щеки каркасов для обмоток трансформаторов ламповых каскадов при питающих напряжениях до 250 *в* должны иметь толщину 1,5—2,5 *мм*, а толщина изоляции между обмотками должна быть около 0,3—0,5 *мм*. В случае обмоток с напряжениями 300—600 *в* щеки должны иметь толщину 2,5—3,5 *мм*, а изоляция между обмотками должна быть около 0,5—0,8 *мм*.

Каркасы изготовляют из гетинакса, текстолита или плотного картона, склеивая их части клеем БФ или густым шеллачным лаком. Применять столярный или канцелярский клей не рекомендуется, так как они не влагоустойчивы. Картонные части каркаса по окончании его изготовления следует покрыть лаком или клеем БФ.

Каркас для обмоток трансформатора с магнитопроводом из пластин с просечкой (рис. 5, *в* и *г*) должен быть на 3—8 *мм* меньше высоты окна магнитопровода l_0, иначе последний не удастся собрать — пластины не будут входить в окно каркаса. Чем больше размеры пластин, тем больше должно быть укорочение каркаса.

Через каждые 40—50 *в* следует прокладывать изоляцию, например конденсаторную бумагу.

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЫХОДНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

К электрическим параметрам выходного трансформатора, которыми задаются при расчете, относятся:

1. Полоса частот, пропускаемых усилителем, ограниченная частотами $F_н$ и $F_в$ (табл. 3). Частота $F_н$ переносных малогабаритных транзисторных радиоприемников определяется нижними границами воспроизводимых частот применяемых здесь громкоговорителей.

Выходной трансформатор усилителя магнитофона, который может работать при различных скоростях движения ленты, рассчитывают на диапазон частот, соответствующий максимальной скорости.

2. Частотные искажения, вносимые трансформатором в этой полосе, выражаются как уменьшение уровня сигнала на вторичной обмотке трансформатора на частотах $F_н$ и $F_в$ по сравнению с уровнем на средних частотах полосы при неизменном уровне сигнала на первичной обмотке при всех частотах.

Параметры выходного трансформатора должны быть такими, чтобы суммарные частотные искажения, вносимые всем усилителем НЧ, не превышали допустимых. При расчете радиовещательной аппаратуры без отрицательной обратной связи допускают обычно снижение усиления по низкой частоте на крайних частотах полосы не более чем на 1—2 *дб*, а в аппаратуре, от которой не требуется художественного воспроизведения, «завал» на этих частотах может быть больше. Если же в усилителе НЧ предусматривается отрицательная обратная связь, снимаемая с вторичной обмотки выходного трансформатора, его расчет можно произвести, допуская снижение уси-

Таблица 3

Граничные частоты усилителей низкой частоты радиоэлектронной аппаратуры

Класс аппаратуры	$F_н$, *гц*	$F_в$, *гц*	Класс аппаратуры	$F_н$, *гц*	$F_в$, *гц*
Радиолы в мебельном оформлении *:			Переносные малогабаритные транзисторные радиоприемники	300—450	3 000—3 500
высшего класса .	40	15 000	Магнитофоны широкого применения при скоростях ленты **:		
первого класса .	60	12 000	19,05 *см/сек* . . .	40	12 000
второго класса .	80	10 000	9,53 *см/сек* . . .	63	10 000
Радиовещательные приемники и радиолы в настольном оформлении *:			4,76 *см/сек* . . .	80	5 000
высшего класса .	60	15 000	Устройства телефонной связи (например, служебной, диспетчерской)	300	3 000
первого класса .	80	12 000			
второго класса .	100	10 000			
третьего класса .	150	7 000			
четвертого класса	200	6 000			

* По ГОСТ 5451-64.
** По ГОСТ 8088-62.

ления на крайних частотах на 4—6 *дб*, учитывая, что обратная связь уменьшит частотные искажения.

3. Сопротивление внешней нагрузки трансформатора переменному току, например сопротивления громкоговорителя (громкоговорителей) или магнитной головки, подключенной ко вторичной обмотке трансформатора, обычно задается на средней частоте 1 000 *гц*.

Сопротивление нагрузки для схемы по рис. 3, *а*

$$R_н = r_{гр}; \quad (1)$$

для схемы по рис. 3, *б*, если в ней применены одинаковые громкоговорители,

$$R_н = \frac{r_{гр}}{m}; \quad (2)$$

для схемы рис. 3, *в* при том же условии

$$R_н = r_{гр}\, m. \quad (3)$$

При расчете трансформатора для схемы по рис. 3, *г* сопротивления звуковых катушек громкоговорителей, подключенных через конденсатор $C_р$, во внимание не принимают.

4. Приведенное сопротивление нагрузки к первичной обмотке трансформатора — сопротивление трансформатора переменному току на средних частотах полосы пропускания со стороны его первичной обмотки.

Для наилучшего использования мощности сигнала НЧ, выделяемой в коллекторной цепи транзистора или в анодной цепи лампы, приведенное сопротивление должно быть равно наивыгоднейшему

сопротивлению нагрузки этой цепи $R_а$. В случае двухтактного каскада вместо $R_а$ при расчете принимают так называемое наивыгоднейшее сопротивление нагрузки между анодами ламп или коллекторами транзисторов каскада $R_{а.а}$ (см. приложение).

5. Номинальная выходная мощность оконечного каскада, т. е. максимальная мощность НЧ, передаваемая трансформатором нагрузке.

6. Коэффициент полезного действия трансформатора ($\eta_т$) — отношение мощности, передаваемой трансформатором внешней нагрузке, к мощности, поступающей на него с транзистора или лампы (транзисторов, ламп) оконечного каскада.

У трансформатора к. п. д. всегда меньше единицы вследствие того, что часть мощности сигнала звуковых частот, отдаваемой лампой (лампами) или транзистором (транзисторами) оконечного каскада, бесполезно теряется на нагревание обмоток и магнитопровода выходного трансформатора. Его к. п. д. тем меньше, чем меньше $P_{вых}$. Практически имеют место к. п. д. указанные в табл. 4. Для верхнечастотного трансформатора ($Тр_в$, на рис. 3, *д*) $\eta_т \approx 0{,}7$.

Таблица 4

Средние значения к. п. д. выходных трансформаторов

$P_{вых}$, *вт*	До 0,5	0,5—1,5	1,5—4	4—10	10—30
$\eta_т$	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9

7. Постоянная составляющая коллекторного или анодного тока (I_0), протекающего по первичной обмотке выходного трансформатора однотактного каскада.

Для системы объемного звучания, кроме того, нужно задаться так называемой частотой разделения ($F_р$). Это такая частота, при которой напряжение сигнала на «верхнечастотных» громкоговорителях $Гр_3$ и $Гр_4$ на 6 *дб* (в 2 раза) меньше напряжения на обмотке *II* выходного трансформатора *Тр* в схеме рис. 3, *г* или переменной составляющей напряжения на концах обмотки *I* трансформатора $Тр_н$ в схеме рис. 3, *д*. При более низких частотах напряжение сигнала на упомянутых громкоговорителях снижается, а при более высоких частотах повышается. Требуемое деление напряжения сигнала на разных частотах определяется емкостью конденсатора $C_р$ и параметрами трансформатора $Тр_в$.

Частоту разделения обычно выбирают в пределах 1 200—4 000 *гц*.

Расчетные формулы. Индуктивность первичной обмотки выходного трансформатора L_I, отношение чисел витков обмоток $n = w_{II}/w_I$ и другие параметры схемы, связанные с выходным трансформатором, вычисляют по формулам, приведенным в табл. 5. Для трансформатора *Тр* в схемах на рис. 1, 2, 3, *а—г* и $Тр_н$ в схеме на рис. 3, *д* коэффициент k_L берут из табл. 6.

Таблица 5

Формулы для расчета электрических параметров выходных трансформаторов

Параметр	Однотактный каскад	Двухтактный каскад	Единица измерения	№ формулы
L_I	$\frac{R_а}{F_н k_L}$	$\frac{R_{а.а}}{F_н k_L}$	*гн*	(4)
U_{II}	$\sqrt{P_{вых} R_н}$		*в*	(5)
n	$\sqrt{\frac{R_н}{R_а \eta_т}}$	$\sqrt{\frac{R_н}{R_{а.а} \eta_т}}$		(6)
n	$\frac{U_{II}}{\sqrt{P_{вых} R_а \eta_т}}$	$\frac{U_{II}}{\sqrt{P_{вых} R_{а.а} \eta_т}}$		(6′)
r_I	$\frac{22 \cdot 10^{-5} w_I l_в}{d_I^2}$		*ом*	(7)
r_{II}	$\frac{22 \cdot 10^{-5} w_{II} l_в}{d_{II}^2}$		*ом*	(8)

Таблица 6

Коэффициент k_L к формулам (4) в табл. 5

Относительный уровень сигнала на частоте $F_н$						
0,94	0,9	0,8	0,7	0,63	0,56	0,5
Снижение усиления на частоте $F_н$, *дб*						
0,5	1	2	3	4	5	6
Коэффициент k_L						
2,2	3,2	5,0	6,3	8,0	10	11

Трансформатор к громкоговорителям, воспроизводящим верхние частоты ($Тр_в$ в схеме на рис. 3, *д*), рассчитывают последовательно по нижеследующим формулам:

$$n = (0,5 \div 0,6)\sqrt{\frac{R_{н.в}}{R_а}} \qquad (9)$$

или

$$n = (0,5 \div 0,6)\sqrt{\frac{R_{н.в}}{R_{я.а}}}, \qquad (9а)$$

$$C_р = \frac{n^2 \cdot 10^{11}}{F_р R_{н.в}}; \qquad (10)$$

полученную по этой формуле емкость округляют до ближайшей стандартной величины:

$$L_I = \frac{253 \cdot 10^8}{F_р^2 C_р}, \qquad (11)$$

В формулах (10) и (11) емкость $C_р$ выражается в пикофарадах.

Сопротивления обмоток постоянному току r_I и r_{II} определяют позднее по величинам w_I, w_{II}, d_I и d_{II}, которые становятся известными только в результате конструктивного расчета трансформатора.

Емкость конденсатора в схеме на рис. 3, *г*:

$$C_р = \frac{9 \cdot 10^4}{F_р R_{н.в}}, \qquad (12)$$

где $R_{н.в}$ — полное сопротивление громкоговорителей $Гр_3$ и $Гр_4$, воспроизводящих верхние частоты.

По формуле (12) емкость $C_р$ получается в микрофарадах.

КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ ВЫХОДНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Конструктивный расчет трансформатора выполняют на основе его электрических параметров.

Магнитопровод. По заданным величинам $P_{вых}$, $F_н$ и $M_н$, пользуясь табл. 7, 8 или 9, находят минимально необходимую величину A, которой должен обладать магнитопровод из электротехнической стали. Если обмотки будут размещаться согласно рис. 7, *б*, требуемая величина A увеличивается в 1,4—2 раза. Для трансформатора однотактного каскада с $P_{вых} \leqslant 0,2$ *вт* при применении пермаллоя марки 45Н или 50Н найденную по табл. 7 величину A уменьшают в 2—3 раза. Для трансформатора двухтактного каскада с $P_{вых} \leqslant 0,2$ *вт* при сборке его из пластин пермаллоя марки 79НМ найденную по табл. 8 или 9 величину уменьшают в 8—10 раз, а при сборке из пластин пермаллоя марки 45Н или 50Н — в 4—5 раз.

Магнитопровод трансформатора верхних частот радиовещательного приемника с системой объемного звучания ($Тр_в$ на рис. 3, *д*) должен иметь конструктивную постоянную не менее 4.

Таблица 7

Конструктивные постоянные магнитопроводов для выходных трансформаторов однотактных каскадов

$P_{вых}$, *вт*	$F_н$, *гц*	Снижение усилия на частоте $F_н$, *дб*						
		0,5	1	2	3	4	5	6
		Конструктивная постоянная магнитопровода $A \cdot 10^5$						
До 0,5	40	40	30	20	15	12	10	9
	60	30	20	12	10	8	7	6
	80	20	15	10	7	6	5	4
	100	16	12	8	6	5	4	3,5
	120	14	10	6	5	4	3,5	3
	150	11	8	5	4	3,5	3	2,5
	200	8	6	4	3	2,5	2	1,7
	300	6	4	3	2	1,6	1,4	1,1
	400	4	3	2	1,5	1,2	1	0,8
0,5—1,5	40	65	45	30	22	18	15	13
	60	42	30	20	15	12	10	9
	80	33	22	15	11	9	8	7
	100	25	18	12	9	7,5	6,5	5,5
	120	21	15	10	7,5	6	5,5	4,5
	150	18	12	8	6	5	4,5	3,5
	200	13	9	6	4,5	4	3	2,5
	300	9	6	4	3	2,5	2	1,8
	400	7	5	3	2,5	2	1,5	1,3
1,5—4	40	80	60	40	30	25	20	18
	60	55	40	25	20	16	14	12
	80	40	30	20	15	12	10	9
	100	35	25	15	12	10	8	7
	120	28	20	13	10	8	7	6
	150	22	16	10	8	7	6	5
	200	18	12	8	6	5	4	3,5
	300	11	8	5	4	3,5	3	2,5
	400	9	6	4	3	2,5	2	1,8

Далее по табл. 1 или 2 выбирают магнитопровод с конструктивной постоянной не менее минимально необходимой.

Рекомендуется применять магнитопроводы, у которых отношение B/l равно 1,5—2 (например, Ш10×20, Ш16×24). При больших отношениях B/l затрудняется плотная намотка (со сторон большего размера витки ложатся недостаточно плотно, вспучиваются). Магнитопроводы с отношением $B/l \leqslant 1$ (например, Ш20×20) следует использовать лишь в тех случаях, когда играют существенную роль размеры трансформатора.

Выписывают из табл. 1 или 2 размеры выбранного магнитопровода $S_с$, $l_м$ и $l_в$ и по формулам из табл. 10 определяют конструктивные элементы трансформатора.

Таблица 8

Конструктивные постоянные магнитопроводов для выходных трансформаторов двухтактных каскадов, работающих в режиме А

$P_{вых}$, *вт*	$F_н$, *гц*	Снижение усиления на частоте $F_н$, *дб*						
		0,5	1	2	3	4	5	6
		Конструктивная постоянная магнитопровода $A \cdot 10^5$						
До 0,5	40	33	24	15	12	9,4	8,1	6,9
	60	22	16	10	8	6,2	5,4	4,6
	80	17	12	7,5	5,9	4,7	4,0	3,4
	100	13	10	6,0	4,7	3,8	3,3	2,8
	120	11	7,9	5,0	3,9	3,0	2,8	2,2
	150	9,0	6,2	4,1	3,0	2,6	2,2	1,8
	200	6,6	4,7	3,0	2,4	1,8	1,7	1,4
	300	4,4	3,0	2,1	1,5	1,3	1,1	0,9
	400	3,3	2,4	1,5	1,2	1,0	0,8	0,7
0,5—1,5	40	40	29	18	14	11	10	9
	60	27	19	12	9,6	7,5	6,6	5,6
	80	20	14	9,1	7,2	5,7	4,9	4,1
	100	16	12	7,3	5,7	4,7	4,0	3,0
	120	13	9,5	6,1	4,8	3,6	3,3	2,7
	150	11	7,6	5,0	3,6	3,1	2,7	2,2
	200	8,0	5,7	3,7	2,9	2,2	2,0	1,7
	300	5,3	3,7	2,5	1,8	1,5	1,3	1,1
	400	4,0	2,9	1,8	1,4	1,2	1,0	0,8
1,5—4	40	50	36	23	18	14	11	10
	60	33	24	15	12	9,4	8,2	7,0
	80	25	18	11	9,0	7,1	6,1	5,1
	100	20	15	9,1	7,1	5,8	5,0	4,2
	120	17	12	7,6	6,0	4,5	4,2	3,4
	150	14	9,4	6,3	4,5	3,9	3,4	2,8
	200	10	7,1	4,5	3,6	2,8	2,5	2,1
	300	7	4,5	3,1	2,3	1,9	1,7	1,4
	400	5	3,6	2,3	1,8	1,5	1,3	1,0
4—10	40	66	48	30	24	19	16	14
	60	44	32	20	16	12	11	9,2
	80	33	24	15	12	9,4	8,0	6,8
	100	26	20	12	9,4	7,8	6,6	5,5
	120	22	16	10	7,9	6,0	5,5	4,4
	150	18	13	8,2	6,0	5,0	4,4	3,7
	200	13	9,4	6,0	4,7	3,7	3,3	2,8
	300	8,8	6,0	4,1	3,0	2,6	2,2	1,8
	400	6,6	4,7	3,0	2,3	2,0	1,6	1,4
10—30	40	100	72	46	36	29	24	21
	60	67	48	30	24	19	16	14

$P_{вых}$, *вт*	$F_н$, *гц*	Снижение усиления на частоте $F_н$, *дб*						
		0,5	1	2	3	4	5	6
		Конструктивная постоянная магнитопровода $A \cdot 10^5$						
10—30	80	50	36	23	18	14	12	11
	100	40	30	18	14	12	10	8,3
	120	33	24	15	12	9,1	8,3	6,7
	150	27	19	13	9,1	7,8	6,7	5,6
	200	20	14	9,1	7,7	5,6	5,0	4,2
	300	13	9,1	6,3	4,5	3,8	3,4	2,8
	400	10	7,1	4,5	3,6	2,9	2,5	2,1

Таблица 9

Конструктивные постоянные магнитопроводов для выходных трансформаторов двухтактных каскадов, работающих в режиме B

$P_{вых}$, *вт*	$F_н$, *гц*	Снижение усиления на частоте $F_н$, *дб*						
		0,5	1	2	3	4	5	6
		Конструктивная постоянная магнитопровода $A \cdot 10^5$						
До 0,5	40	24	18	11	8,6	6,9	5,9	5,0
	60	16	11	7,3	5,7	4,5	4,0	3,4
	80	12	8,6	5,5	4,3	3,5	3,0	2,5
	100	9,6	7,1	4,4	3,5	2,8	2,4	2,0
	120	8,0	5,7	3,7	2,9	2,2	2,0	1,6
	150	6,5	4,5	3,0	2,2	1,9	1,6	1,3
	200	4,8	3,5	2,2	1,7	1,4	1,2	1,0
	300	3,2	2,2	1,5	1,1	0,9	0,8	0,7
	400	2,4	1,7	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5
0,5—1,5	40	29	21	13	10	8,3	7,1	6,1
	60	20	14	8,6	6,9	5,5	4,8	4,1
	80	15	11	6,6	5,2	4,2	3,6	3,0
	100	12	8,6	5,3	4,2	3,4	2,9	2,5
	120	10	6,9	4,4	3,5	2,7	2,5	2,0
	150	7,9	5,5	3,7	2,7	2,3	2,0	1,6
	200	5,8	4,2	2,7	2,1	1,6	1,5	1,2
	300	3,9	2,7	1,8	1,3	1,1	1,0	0,8
	400	2,9	2,1	1,4	1,1	0,9	0,7	0,6

$P_{вых}$, *вт*	$F_н$, *гц*	Снижение усиления на частоте $F_н$, *дб*						
		0,5	1	2	3	4	5	6
		Конструктивная постоянная магнитопровода $A \cdot 10'$						
1,5—4	40	36	26	17	13	11	8,8	7,5
	60	24	17	11	8,6	6,8	5,9	5,0
	80	18	13	8,2	6,5	5,2	4,4	3,7
	100	15	11	6,6	5,2	4,2	3,6	3,0
	120	12	8,6	5,5	4,3	3,3	3,0	2,4
	150	9,7	6,8	4,5	3,3	2,8	2,4	2,0
	200	7,2	5,2	3,3	2,6	2,0	1,8	1,5
	300	4,8	3,3	2,3	1,7	1,4	1,2	1,0
	400	3,6	2,6	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
4—10	40	48	35	22	17	14	12	10
	60	32	23	15	12	9,0	7,9	6,7
	80	24	17	11	8,6	6,9	5,9	5,0
	100	19	14	8,7	6,9	5,6	4,8	4,0
	120	16	12	7,3	5,7	4,4	4,0	3,2
	150	13	9,1	6,0	4,4	3,7	3,2	2,7
	200	9,6	6,9	4,4	3,5	2,7	2,4	2,0
	300	6,4	4,4	3,0	2,2	1,9	1,6	1,4
	400	4,8	3,5	2,2	1,7	1,4	1,2	1,0
10—30	40	73	53	33	26	21	18	15
	60	49	35	22	17	14	12	10
	80	37	26	17	13	11	9,0	7,5
	100	29	22	15	11	8,5	7,3	6,1
	120	25	17	11	8,7	6,7	6,1	4,9
	150	20	14	9,2	6,7	5,6	4,9	4,1
	200	15	11	6,7	5,2	4,1	3,7	3,1
	300	10	6,7	4,6	3,3	2,7	2,5	2,0
	400	7,3	5,3	3,3	2,6	2,2	1,8	1,5

Расчет чисел витков обмоток. Формула (13) дает число витков первичной обмотки w_I, при котором усиление на частоте $F_н$ будет снижаться не более чем на заданное число децибел. Коэффициент k_w для подстановки в эту формулу берут из табл. 11.

Формулой (14) пользуются только в случае лампового каскада при $P_{вых} \geqslant 4$ *вт*. Эта формула определяет число витков для условия, что магнитная индукция в магнитопроводе не превышает допустимой, т. е. нелинейные искажения, вносимые трансформатором, будут малы. Из величин, полученных по формулам (13) и (14), выбирают бо̀льшую. Если большей будет величина, полученная по формуле (14), снижение усиления на частоте $F_н$ будет меньше заданного.

Таблица 10

Формулы для конструктивного расчета трансформаторов

Параметр	Однотактный каскад	Двухтактный каскад		Единица измерения	№ формулы
	Режим А		Режим В		
w_{I}	$k_w \sqrt{\dfrac{L_{\mathrm{I}}\ l_{\text{м}}}{S_{\text{с}}}}$			Витки	(13)
w_{I}	—	$\dfrac{3\,500\, U_0}{F_{\text{н}}\, S_{\text{с}}}$		Витки	(14)
$w_{\text{э}}^{*}$	$k_{\text{э}}\, w_{\mathrm{I}}$			Витки	(15)
w_{II}	$n w_{\mathrm{I}}$			Витки	(16)
d_{I}	$k_A \sqrt{\dfrac{w_{\mathrm{I}}\ l_{\text{в}}}{R_{\text{а}}}}$	$k_A \sqrt{\dfrac{w_{\mathrm{I}}\ l_{\text{в}}}{R_{\text{а.а}}}}$	$k_B \sqrt{\dfrac{w_{\mathrm{I}}\ l_{\text{в}}}{R_{\text{а.а}}}}$	*мм*	(17)
d_{II}^{**}	$\dfrac{d_{\mathrm{I}}}{\sqrt{n}}$		$\dfrac{0{,}84 d_{\mathrm{I}}}{\sqrt{n}}$	*мм*	(18)
d_{II}^{***}	—	$\dfrac{0{,}71 d_{\mathrm{I}}}{\sqrt{n}}$	$\dfrac{0{,}6 d_{\mathrm{I}}}{\sqrt{n}}$	*мм*	(18′)
$l_{\text{з}}$	$k_{\text{з}} w_{\mathrm{I}}\ I_0\ 10^{-7}$	—		*мм*	(19)

* Для схем на рис. 1, *в* и 2, *в*.
** Для вторичной обмотки в один провод.
*** Для вторичной обмотки из двух параллельных частей.

Таблица 11

Значение коэффициента k_w в формуле (13)

$P_{вых}$, *вт*	Материал магнитопровода*	k_w**
	Однотактный каскад	
До 0,2	45Н, 50Н	350
До 0,5	Э320, Э330 и др.	500
0,5—1,5	То же	550
1,5—4	» »	600
	Двухтактный каскад	
До 0,2	79НМ	150
До 0,2	45Н, 50Н	280
До 30	Э320, Э330 и др.	450

* Электротехническая сталь любой марки.
** Для верхнечастотного трансформатора ($Тр_в$ на рис. 3, *д*) k_w=450.

Если число витков w_I по формуле (14) существенно больше полученного по формуле (13), следует взять магнитопровод с большей конструктивной постоянной A и произвести расчет числа витков заново.

При использовании в оконечных каскадах по сверхлинейной схеме (рис. 1, *в* и 2, *в*) пентодов 6П14П или лучевых тетродов 6П3С в формулу (15) подставляют коэффициент $k_э$=0,22; при применении лучевых тетродов 6П1П или 6П6С $k_э$=0,11. Для двухтактной схемы эта формула дает числа витков, от которых надо делать отводы в каждой половине обмотки.

Расчет диаметра провода первичной обмотки d_I производят по соответствующей формуле (17) из табл. 10, используя коэффициент k_A или k_B из табл. 12 При расчете верхнечастотного трансформатора ($Тр_в$ на рис. 3, *д*) из этой таблицы берут минимальный коэффициент.

Таблица 12

Коэффициенты k_A и k_B к формуле (17)

$P_{вых}$, *вт*	До 0,5	0,5—1,5	1,5—4	4—10	10—30
k_A	0,038	0,042	0,047	0,054	0,066
k_B	0,050	0,056	0,062	0,072	0,088

Если по расчету получается нестандартный диаметр провода d_I, намотку нужно производить проводом ближайшего большего стандартного диаметра.

В маломощных трансформаторах не следует применять провода диаметром меньше 0,08 *мм* (по соображениям механической прочности).

Расчет диаметра провода вторичной обмотки d_{II} производят по соответствующей формуле (18) или (18′), принимая диаметр d_I, полученный расчетом.

При необходимости диаметр d_{II} также округляют до стандартного. При увеличении диаметра провода первичной обмотки по сравнению с расчетной величиной во столько же раз можно уменьшать диаметр провода вторичной обмотки.

Зная диаметры проводов обмоток d_I и d_{II}, можно по формулам (7) и (8) табл. 5 вычислить сопротивления этих обмоток постоянному току. При этом нужно иметь в виду, что сопротивление обмотки увеличивается примерно на 4% при увеличении температуры на каждые 10° С и что сопротивление обмотки может отличаться от расчетного вследствие того, что фактический диаметр провода может несколько отличаться от номинального.

Расчет немагнитного зазора. Для магнитопровода из электротехнической стали в формулу (19) подставляют коэффициент $k_з=8$, а для пермаллоя марки 45Н или 50Н $k_з=10$. Если в результате расчета получится $l_з \leqslant 0,1$ *мм*, то магнитопровод из пластин собирают без прокладки между его разъемными частями.

ВЫХОДНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ЗАВОДСКОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

В конструируемой аппаратуре всегда желательно применение выходных трансформаторов заводского изготовления. В табл. 13, 14 и 15 [1] наряду с другими конструктивными и электрическими данными таких трансформаторов для отечественных радиовещательных приемников, радиол, телевизоров и магнитофонов широкого применения приведены ориентировочные значения параметра $1/n^2\eta_т$. Этот параметр удобен для прикидочных расчетов, необходимых в тех случаях, когда трансформатор приходится использовать в каскаде с лампой или транзистором иного типа или при другой нагрузке ($R_н$) по сравнению с указанными для него в таблице.

Умножая заданную величину $R_н$ на этот параметр, получим эквивалентное сопротивление нагрузки $R_а$ или $R_{а.а}$. Параметры $1/n^2\eta_г$, как и n, даны в табл. 13 и 14 с точностью до второй значащей цифры.

Указанные в табл. 13—15 величины $R_н$ являются нормальными для соответствующих трансформаторов при их работе в указанной аппаратуре.

Если отношение витков обмоток n заводского трансформатора меньше требуемого, можно домотать вторичную обмотку до числа витков w_{II}, определяемого по формуле (16) из табл. 10. Дополнительные витки наматывают в ту же сторону, как и имеющиеся.

---

[1] Типы магнитопроводов, числа витков и диаметры проводов обмоток указаны в табл. 13—15 по данным заводских описаний соответствующей аппаратуры или по данным журнала «Радио».

Таблица 13

Выходные трансформаторы ламповых радиовещательных приемников, радиол, телевизоров и магнитофонов с однотактными оконечными каскадами

Для какого приемника, телевизора, магнитофона, радиолы	$P_{вых}$, вт	Магнитопровод	Первичная обмотка[1]		Вторичная обмотка[1]		n	$1/n^2\eta_T$	$R_н$, ом
			w_I	d_I, мм	w_{II}	d_{II}, мм			
Для лампы 2П1П или 2П2П									
«Воронеж»[2]	0,1	Ш16×16	2 650	0,12	75	0,51	0,028	1 800	6,5
«Дорожный»[2] . .		Ш9×12	1 675+1675	0,12	60	0,51	0,018	4 400	
«Турист»[2]	0,04	Ш9×12	3 550	0,12	50	0,55	0,014	7 200	
Для лампы 6П1П или 6П6С									
«Днипро»[2]	0,5	Ш16×24	2 530	0,11	71	0,69	0,028	1 700	
«Москвич-3» и «Огонек»[2]	0,5	Ш16×16	2 850	0,1	60	0,64	0,022	3 000	6,5
«Темп», «Темп-2»[4] . .	1,0	Ш19×30	2 700	0,15	65	0,8	0,024	2 300	3,25
«Рубин»[4]	1,0	Ш16×32	3 000	0,12	150	0,51	0,050	530	13
«Старт»[4]	1,0	Ш20×20	4 270	0,12	148	0,55	0,035	1 100	6,5
«Старт-2»[4]	1,0	Ш20×20	2 600	0,12	91	0,55	0,035	1 100	6,5
«А-8»[3]	1,5	Ш14×21	2 000	0,15	45	0,59	0,023	2 600	
Для лампы 6П14П									
«Астра»[11]	2	Ш18×38	2 250	0,12	75 55 90[6]	0,59 0,8 0,12	0,033 0,04	1 150	3,25

Продолжение табл. 13

Для какого приемника, телевизора, магнитофона, радиолы	$P_{вых}$, *вт*	Магнитопровод	Первичная обмотка[1]		Вторичная обмотка[1]		n	$1/n^2\eta_т$	$R_н$, *ом*
			w_I	d_I, *мм*	w_{II}	d_{II}, *мм*			
А-12[3]	2	Ш14×21	2 600	0,12	35+35[7]	0,59	0,027	1 700	
«Беларусь-110»[4]	1,5	Ш16×24	2 400	0,1	64	0,5	0,027	1 700	
					650	0,1	0,27		
«Байкал», «Муромец»[2]	2	Ш16×24	2 600	0,12	64	0,51	0,025	2 100	3,25
«Волга»[2]	2	Ш16×24	2 600	0,12	90+3[7]	0,64	0,036	980	9
		Ш9×9[8]	2 000	0,12	28	0,51	0,014	7 300	3,25
«Волна»[2]	0,5	Ш18×18	2 500+500	0,12	62	0,59	0,025	2 300	
«Волна», «Дружба»[4]	2,5	Ш16×32	3 000	0,12	146	0,47	0,049	520	13
«Воронеж»[4]	1	Ш16×24	2 940	0,12	90	0,64	0,031	1 430	6,5
«Воронеж-6»[4]	0,5	ШЛ16×20	3 000	0,12	114	0,59	0,038	1 000	6,5
«Гинтарас»[11]	—	Ш20×20	2 250+750[9]	0,2	100	0,72	0,033	1 200	6,5
«Дзинтарс»[2], «Сакта»[5]	2	—	2 250+650[9]	0,15	80	0,64	0,028	1 600	4
«Днепр-11»[11]	2	Ш19×33	800+600+600[9] (+800)[10]	0,12	72	0,69	0,036	960	9
«Донец»[2]	2	Ш16×16	2 660	0,12	64	0,51	0,024	2 200	3,25
«Заря», «Стрела»[2]	0,5	Ш12×18	2 650	0,09	75	0,44	0,028	1 800	6,5
«Енисей-2»[4]	1	Ш20×28	3 500	0,12	100	0,64	0,029	1 600	3,25
«Казань-2»[12]	1	Ш12×25	3 500	0,14	100	0,64	0,029	1 600	6,5
«Комета»[11]	—	—	2 600	0,12	52	0,64	0,02	3 300	2,2
«Комсомолец»[4]	1	—	3 000	0,1	110	0,51	0,037	1 000	6,5
«Латвия»[5] РН-59	1,5	Ш16×24	2 900+95	0,12	50	0,8	0,017	4 100	1,7
		Ш10×10[8]	2 000	0,12	33	0,51	0,017	5 300	3,25

Продолжение табл. 13

Для какого приемника, телевизора, магнитофона, радиолы	$P_{вых}$, *вт*	Магнитопровод	Первичная обмотка[1]		Вторичная обмотка[1]		n	$1/n^2\eta_т$	$R_н$, *ом*
			w_I	d_I, *мм*	w_{II}	d_{II}, *мм*			
«Октава»[2]	2	Ш16×16	2 600	0,12	90	0,64	0,035	1 000	—
		Ш10×10[8]	2 000	0,12	28	0,51	0,014	7 300	—
«Рекорд-А», «Рекорд-Б»[4]	1	Ш16×16	2 800	0,14	125	0,59	0,045	670	6,5
«Рубин-102»[4] . . .	1	Ш16×32	2 000	0,18	100	0,59	0,05	540	13
«Сибирь»[5]	2	Ш14×20	2 800	0,12	144	0,33	0,051	500	16
«Смена»[4]	—	ШЛ20×20	3 000	0,12	110	0,56	0,037	1 000	6,5
«Спалис»[11]	1	—	3 000	0,12	100	0,72	0,033	1 300	6,5
«Старт-3»[4]	1	ШЛ10×25	2 900	0,12	97	0,55	0,033	1 300	6,5
«Юбилейный стерео»[11]	2	Ш12×24	2 800	0,13	74	0,74	0,026	1 800	3,25
«Харьков»[2]	2	Ш18×18	2 600	0,12	64	0,51	0,025	2 000	3,25
«Янтарь»[4]	1	Ш16×32	2 000	0,12	170	0,65			
«Яуза-5»[11]	1,5	Ш16×32	2 000	0,18	100	0,59	0,05	540	13
«Яуза-10»[11]	3	Ш16×32	2 000	0,18	58	0,83	0,029	1 500	6,5

[1] — Намотка проводами в эмалевой изоляции (ПЭЛ или ПЭВ); [2] — радиовещательный настольный приемник; [3] — радиовещательный автомобильный приемник; [4] — телевизор; [5] — радиола; [6] — обмотка отрицательной обратной связи; [7] — отвод на цепь отрицательной обратной связи; [8] — трансформатор к громкоговорителям, воспроизводящим верхние звуковые частоты, [9] — включение по сверхлинейной схеме; [10] — секция обмотки, указанная в скобках, не включена, [11] — магнитофон; [12] — магнитола.

Таблица 14

Выходные трансформаторы ламповых радиовещательных приемников, радиол и магнитофонов с двухтактными оконечными каскадами

К какому приемнику, радиоле, магнитофону	$P_{вых}$, *вт*	Магнитопровод	Первичная обмотка[1]		Вторичная обмотка[1]		*n*	$1/n^2\eta_т$	$R_н$, *ом*
			w_I	d_I, *мм*	w_{II}	d_{II}, *мм*			
			Для двух ламп 2П1П						
«Родина-52»[2]	0,15	Ш16×16	1 750+1 750	0,1	50	0,64	0,014	7 000	
			Для двух ламп 6П1П						
«Эстония-55»[3] . . .	4	Ш16×32	800+800	0,18	13 300[6]	1,0 0,18	0,0077 0,19	18 000	0,6
			Для двух ламп 6П14П						
«Беларусь-62» стерео	4	Ш20×30	1 250+1 250	0,14	76		0,03	1 300	9
«Днепр-11»[4]	3	Ш19×33	800+600+ +600+800[5]	0,15	72 800[7]	0,69 0,15	0,026 0,29	1 900	9
«Дружба»[3], «Люкс»	6	Ш19×28	1 140+1 140	0,15	70	0,38×2	0,031	1 300	
«Россия»[3]		Ш19×12[8]	2 000	0,12	35	0,51	0,017	4 700	3;25
«Фестиваль»	4	Ш20×30	1 000+250+ +250+1 000[5]	0,14	50 35+15+30[7]	0,47	0,02	3 000	
«Эстония-3»	4	Ш16×32	840+280+ +280+840[5]	0,15	37 420	0,64 0,15	0,017 0,19	4 700	2,4
		Ш12×12[8]	2 000	0,11	35	0,55	0,017	4 700	3,25

[1] — намотка проводами в эмалевой изоляции (ПЭЛ или ПЭВ); [2] — радиовещательный настольный приемник; [3] — радиола; [4] — магнитофон; [5] — включение по сверхлинейной схеме; [6] — обмотка для подключения внешнего громкоговорителя; [7] — обмотка обратной связи; [8] — трансформатор к громкоговорителям, воспроизводящим верхние частоты в системе объемного звучания.

Таблица 15

Выходные трансформаторы транзисторных радиовещательных приемников с двухтактными оконечными каскадами на транзисторах серий П13—П15 и ГТ108

К какому приемнику	$P_{вых}$, *вт*	Магнитопровод		Первичная обмотка[2]		Вторичная обмотка[2]		n	$1/n^2\eta_т$	$R_н$, *ом*
		Материал[1]	Размер	w_I	d_I, *мм*	w_{II}	d_{II}, *мм*			
«Алмаз», «Нева-2»[3] .	0,1	50Н	Ш3×6	450+450	0,09	102	0,23	0,113	110	10
«Атмосфера-2М» . .	0,15	45Н	Ш6×6	400+400	0,15	85	0,31	0,106	130	4,5
«Гауйя»	0,1	50Н	Ш4,8×6,5	450+450	0,11	114	0,25	0,127	90	10
«Минск-62»	0,15	Э	Ш12×12	220+220	0,23	40	0,59	0,091	170	6,5
«Мир»	0,07	45Н	Ш3×6	450+450	0,09	76+1	0,23	0,085	200	8
«Нарочь»	0,15	Э	Ш10×12	180+180	0,18	47+1	0,51	0,133	80	6,5
«Родина-59»	0,15	Э	Ш9×18	200+200	0,31	73	0,64	0,182	44	6,5
«Селга»	0,2	50Н	Ш5×6	225+225	0,15	23+43	0,35	0,147	67	10
«Старт-2», «Топаз-2», «Чайка», «Сокол»[3]	0,1	50Н	Ш3×6	450+450	0,09	102	0,23	0,113	110	10
«Юпитер», «Нейва» .	0,06	50Н	Ш3×6	513+513	0,08	108	0,23	0,10	130	10

[1] Э — электротехническая кремнистая сталь; [2] — намотка эмалированным проводом; [3] — трансформатор типа ТВ-285.

В противном случае можно отмотать часть витков вторичной обмотки. Если это затруднительно и притом разница в числах витков w_{I}, имеющегося и требуемого трансформаторов незначительна, можно намотать навстречу столько дополнительных витков сколько их излишних имеется в заводской вторичной обмотке.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Выходной трансформатор для однотактного каскада по сверхлинейной схеме (рис. 1, *в*). Задано: $P_{\text{вых}}=1$ *вт*, $F_{\text{н}}=100$ *гц*, $M_{\text{н}}=2$ *дб*, $R_{\text{н}}=3{,}25$ *ом* (два соединенных параллельно громкоговорителя 1ГД19), $R_{\text{а}}=5\,300$ *ом*, $I_0=38$ *ма* (пентод 6П14П), магнитопровод из электротехнической стали.

Необходимый для расчета индуктивности L_{I} коэффициент k_L, равный 5, находим из табл. 6. Принимаем $\eta_{\text{т}}=0{,}75$.

Электрические параметры трансформатора определяем по формулам (4) и (6):

$$L_{\text{I}} = \frac{5\,300}{100\cdot 5} = 10{,}6\ \textit{гн};$$

$$n = \sqrt{\frac{3{,}25}{5\,300\cdot 0{,}75}} = 0{,}029.$$

Конструктивная постоянная магнитопровода (из табл. 7) $A \geqslant 12\cdot 10^{-5}$. По табл. 1 выбираем магнитопровод типа Ш16×24 из пластин с размерами: $L=56$, $H=48$ *мм*, для которого $A=16\cdot 10^{-5}$, $S_{\text{с}}=3{,}5$ *см*^{2}, $l_{\text{м}}=9$ *см*, $l_{\text{в}}=10{,}9$ *см*.

Требуемые для расчета обмоток коэффициенты $k_w=550$, $k_A=0{,}042$ берем из табл. 11 и 12; для пентода 6П14П $k_{\text{э}}=0{,}22$; для электротехнической стали $k_{\text{з}}=8$.

Обмотки трансформатора по формулам (13) и (15)—(18) должны иметь следующие данные:

$$w_{\text{I}} = 550\sqrt{\frac{10{,}6\cdot 9}{3{,}5}} = 2\,900 \text{ витков};$$

$$w_{\text{э}} = 0{,}22\cdot 2\,900 = 640 \text{ витков};$$

$$w_{\text{II}} = 0{,}029\cdot 2\,900 = 84 \text{ витка};$$

$$d_{\text{I}} = 0{,}042\sqrt{\frac{2\,900\cdot 10{,}9}{5\,300}} = 0{,}11\ \textit{мм};$$

$$d_{\text{II}} = \frac{0{,}11}{\sqrt{0{,}029}} = 0{,}65\ \textit{мм}.$$

Принимаем стандартный диаметр 0,67 *мм*.

Величина зазора по формуле (19):

$$l_{\text{з}} = 8\cdot 2\,900\cdot 38\cdot 10^{-7} \approx 0{,}1\ \textit{мм}.$$

Сопротивления обмоток постоянному току определяем по формулам (7) и (8):

$$r_{I} = \frac{22 \cdot 2\,900 \cdot 10{,}9 \cdot 10^{-5}}{0{,}11^2} = 570\ ом;$$

$$r_{II} = \frac{22 \cdot 84 \cdot 10{,}9 \cdot 10^{-5}}{0{,}67^2} = 0{,}44\ ом.$$

Выходной трансформатор для двухтактного каскада на пентодах по сверхлинейной схеме. Задано: 2 лампы 6П14П; режим В; $U_0 = 300$ *в*; $P_{вых} = 8$ *вт*; $R_{а.а} = 8\,000$ *ом*; $R_н = 9$ *ом*; $F_н = 80$ *гц*; $M_н = 1$ *дб*. Для магнитопровода имеются пластины типа Ш19 размерами $L = 67$ и $H = 57$ *мм*. Обмотки нужно выполнить по рис. 7, *б*.

Коэффициент $k_L = 3{,}2$ берем из табл. 6. Принимаем $\eta_т = 0{,}85$.

Электрические параметры трансформатора определяем по формулам (4) и (6):

$$L_{I} = \frac{8\,000}{80 \cdot 3{,}2} = 31{,}2\ гн;$$

$$n = \sqrt{\frac{9}{8\,000 \cdot 0{,}85}} = 0{,}036.$$

Согласно табл. 9 для выходного трансформатора с указанными выше электрическими характеристиками нужно иметь магнитопровод с конструктивной постоянной $A \geqslant 17 \cdot 10^{-5}$.

Чтобы не было затруднений в размещении обмоток в окнах магнитопровода, принимаем $B = 28$ *мм*. Для магнитопровода Ш19×28 из табл. 1 имеем: $A = 24 \cdot 10^{-5}$, $S_с = 4{,}9$ *см*², $l_м = 10{,}6$ *см* и $l_в = 12{,}8$ *см*.

Коэффициенты $k_w = 450$ и $k_B = 0{,}072$ берем из табл. 11 и 12.

Количество витков первичной обмотки определяем по формулам (13) и (14) и данным, полученным при электрическом расчете:

$$w_{I} = 450 \sqrt{\frac{31{,}2 \cdot 10{,}6}{4{,}9}} = 3\,700\ витков;$$

$$w_{I} = \frac{3\,500 \cdot 300}{80 \cdot 4{,}9} = 2\,650\ витков.$$

Принимаем $w_I = 3\,700$ витков. В секциях *Iа*, *Iб*, *Iд* и *Iе* должно быть по $\frac{3\,700}{8} = 460$ витков, а в секциях *Iв* и *Iг* — по $\frac{3\,700}{4} = 930$ витков (числа витков в секциях округляем). По формуле (15)

$$w_э = 0{,}22 \cdot 3\,700 = 814\ витков,$$

т. е отвод на экранирующую сетку в каждой половине первичной обмотки, считая от ее среднего вывода, должен быть сделан от 814-го витка.

По формуле (16) $w_{II} = 0{,}036 \cdot 3\,700 = 134$ витка, т. е. каждая из секций вторичной обмотки *IIа*, *IIб*, *IIв* и *IIг* должна иметь по $134 : 2 = 67$ витков.

Диаметры обмоточных проводов определяем по формулам (17) и (18′):

$$d_{\text{I}} = 0,072\sqrt{\frac{3\,700\cdot 12,8}{8\,000}} = 0,176\ \text{мм};$$

принимаем стандартный диаметр 0,18 *мм*:

$$d_{\text{II}} = \frac{0,6\cdot 0,176}{\sqrt{0,036}} = 0,59\ \text{мм}.$$

Сопротивления обмоток постоянному току определяем по формулам (7) и (8) из табл. 5:

$$r_{\text{I}} = \frac{22\cdot 3\,700\cdot 12,8\cdot 10^{-5}}{0,18^2} = 325\ \text{ом}$$

(в каждой половине 163 *ом*);

$$r_{\text{II}} = \frac{22\cdot 134\cdot 12,8\cdot 10^{-5}}{0,59^2} = 1,1\ \text{ом}.$$

Сопротивление двух параллельно соединенных секций вторичной обмотки будет 0,55 *ом*.

Трансформатор к громкоговорителям, воспроизводящим верхние частоты ($Тр_{\text{в}}$ на рис. 3, *д*). Задано: $R_{\text{н.в}}=3{,}25$ *ом* (два соединенных параллельно громкоговорителя 1ГД18), $R_{\text{а}}=5\,300$ *ом*, $F_{\text{р}}=1\,300$ *гц*.

Электрические параметры определяем по формулам (9)—(11):

$$n = 0,55\sqrt{\frac{3,25}{5\,300}} = 0,0136;$$

$$C_{\text{р}} = \frac{0,0136^2\cdot 10^{11}}{1\,300\cdot 3,25} = 4\,400\ \text{пф};$$

выбираем конденсатор со стандартной емкостью 4 700 *пф*; тогда

$$L_{\text{I}} = \frac{253\cdot 10^3}{1\,300^2\cdot 4\,700} = 3,2\ \text{гн}.$$

Выбираем магнитопровод Ш10×10 из пластин с размерами $L=36$ и $H=31$ *мм*, для которого $A=4{,}4\cdot 10^{-5}$, $S_{\text{с}}=0{,}9$ $см^2$, $l_{\text{м}}=5{,}7$ $см^2$ и $l_{\text{в}}=5{,}8$ $см^2$.

По формулам (13) и (16)—(18) и данным электрического расчета имеем:

$$w_{\text{I}} = 450\sqrt{\frac{3,2\cdot 5,7}{0,9}} = 2\,030\ \text{витков};$$

$$w_{\text{II}} = 0,0136\cdot 2\,030 = 28\ \text{витков};$$

$$d_{\text{I}} = 0,038\sqrt{\frac{2\,030\cdot 5,8}{5\,300}} = 0,056\ \text{мм};$$

по соображениям механической прочности следует применить провод со стандартным диаметром не менее 0,08 *мм*;

$$d_{II} = \frac{0,056}{\sqrt{0,0136}} \approx 0,49\ мм.$$

Сопротивление обмоток постоянному току определяем по формулам (7) и (8):

$$r_I = \frac{22 \cdot 2\,030 \cdot 5,8 \cdot 10^{-5}}{0,08^2} = 410\ ом;$$

$$r_{II} = \frac{22 \cdot 28 \cdot 5,8 \cdot 10^{-5}}{0,49^2} = 0,15\ ом.$$

Малогабаритный выходной трансформатор для двухтактного каскада на транзисторах. Задано· транзисторы П40; режим В; $U_0 = 9$ *в* $P_{вых} = 0,15$ *вт*; $F_н = 400$ *гц*; $M_н = 1$ *дб*; $R_н = r_{гр} = 6,5$ *ом*; магнитопровод из пермаллоя марки 45Н.

Коэффициент $k_L = 3,2$ (берем из табл. 6) Принимаем $\eta_т = 0,7$.

По формуле (21) имеем:

$$R_{а.а} = \frac{2 \cdot 9^2 \cdot 0,7}{0,15} = 760\ ом.$$

Электрические параметры трансформатора определяем по формулам (4) и (6):

$$L_I = \frac{760}{400 \cdot 3,2} = 0,6\ гн;$$

$$n = \sqrt{\frac{6,5}{760 \cdot 0,7}} = 0,11.$$

Конструктивная постоянная магнитопровода A при использовании электротехнической стали согласно табл. 9 должна быть не менее $1,7 \cdot 10^{-5}$; для пермаллоя 45Н допустимо взять величину A в 4—5 раз меньшую. Чтобы не испытывать затруднений в размещении обмоток в окнах магнитопровода, выбираем магнитопровод типа Ш3×6,3, для которого $A = 0,7 \cdot 10^{-5}$, $S_c = 0,16$ *см*²; $l_м = 2,6$ *см*, $l_в = 2,8$ *см*.

Требуемые для расчета обмоток коэффициенты $k_w = 280$; $k_B = 0,05$ берем из табл. 11 и 12.

Обмотки трансформатора по формулам (13) и (16)—(18) должны иметь следующие данные:

$$w_I = 280 \sqrt{\frac{0,6 \cdot 2,6}{0,16}} = 870\ витков;$$

$$w_{II} = 0,11 \cdot 880 = 96\ витков;$$

$$d_I = 0,05 \sqrt{\frac{880 \cdot 2,8}{760}} = 0,09\ мм;$$

$$d_{II} = \frac{0,84 \cdot 0,09}{\sqrt{0,11}} = 0,23\ мм.$$

Сопротивления обмоток постоянному току определяем по формулам (7) и (8):

$$r_I = \frac{22 \cdot 870 \cdot 2,8 \cdot 10^{-5}}{0,09^2} = 66\ ом;$$

$$r_{II} = \frac{22 \cdot 96 \cdot 2,8 \cdot 10^{-5}}{0,23^2} \approx 1,1\ ом.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ

Сопротивление нагрузки оконечного каскада на транзисторах

Требуемые значения $R_а$ или $R_{а.а}$ оконечных каскадов усиления низкой частоты на транзисторах можно вычислить по формулам, приведенным в табл. 16.

Таблица 16

Формулы для вычисления сопротивления нагрузки транзисторов оконечных каскадов

Однотактный каскад	Двухтактный каскад		№ формулы
Режим А		Режим В	
$R_а = \frac{1\,000\,U_0}{I_0}$	$R_{а.а} = \frac{4\,000\,U_0}{I_0}$	$R_{а.а} = \frac{4\,000\,U_0}{I_{к.и}}$	(20)
$R_а = \frac{0,5\,U_0^2\,\eta_т}{P_{вых}}$	$R_{а.а} = \frac{2U_0^2\,\eta_т}{P_{вых}}$	$R_{а.а} = \frac{2U_0^2\,\eta_т}{P_{вых}}$	(21)

Формулами (20) можно пользоваться, когда режимы работы каскадов ограничены величиной $I_{к.макс}$ для транзисторов данного типа; при этом в режиме А ток покоя $I_0 \leqslant 0,5 I_{к.макс}$ и в режиме В $I_{к.и} \leqslant I_{к.макс}$.

СОДЕРЖАНИЕ

Малинин Роман Михайлович

ВЫХОДНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Редактор *Ю. Л. Голубев*
Художественный редактор *Д. И. Чернышев*
Техн редактор *В В. Зеркаленкова*
Корректор *И. А. Володяева*

Сдано в набор 21/I 1967 г. Подписано к печати 27/VI 1967 г. Т-07006
Формат 84×108[1]/32 Бумага типографская № 2. Усл. печ. л 2,1 Уч.-изд. л. 2,37
Тираж 75 000 экз. Цена 10 коп. Зак. 120

Издательство «Энергия». Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10.

Владимирская типография Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Отпечатано с матриц на Чеховском полиграфкомбинате. Зак. 745

Цена 10 коп.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»